



Evento: XVI Seminário de Inovação e Tecnologia

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DA TECNOLOGIA DE
BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA VIA FOLIAR DE ZINCO E FERRO NO
ENRIQUECIMENTO NUTRICIONAL DE GRÃOS DE AVEIA ¹**

**Bethina Ceccato dos Santos ², Henrique Petrolli ³, Marlon Vinicius da Rosa Sarturi ⁴,
Rubens Ricardo Pott Megier ⁵, Fernando Krause Schmitt ⁶, Igor Miguel Zardin ⁷,
Cristhian Milbradt Babeski ⁸, Jose Antonio Gonzalez da Silva ⁹**

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido na UNIJUÍ

² Estudante do curso Agronomia, bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Tecnológica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PIBITI/CNPq.

³ Estudante do curso de Direito da UNIJUÍ. Bolsista PIBITI/CNPq

⁴ Estudante do curso de Doutorado da UNIJUÍ. Pesquisador Colaborador

⁵ Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIC/FAPERGS

⁶ Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIC/CNPq

⁷ Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ. Bolsista PIBIC/CNPq

⁸ Estudante do curso de Doutorado da UFSM. Pesquisador Colaborador

⁹ Professor Orientador, curso de Agronomia, PPGSAS, PPGMMC, UNIJUÍ.

INTRODUÇÃO

A aveia branca (*Avena sativa* L.) destaca-se entre os cereais de inverno pelo elevado valor nutricional e adaptação às condições do Sul do Brasil. Uma cultura de alta qualidade nutricional na alimentação. Afora a falta de alimentos, a fome oculta é aquela causada pela deficiência de nutrientes, e afeta bilhões de pessoas, destacando-se a deficiência de zinco (essencial ao metabolismo e ao sistema imunológico) e de ferro (essencial ao transporte de oxigênio e à formação da hemoglobina) (ZHANG et al., 2022; DUAN et al., 2023).

Embora alguns alimentos evidenciam valores mais elevados de zinco e ferro, a grande maioria comumente ingeridos diariamente pela população tem reduzida concentração. A biofortificação agronômica via aplicação foliar surge como estratégia para elevar os teores de zinco e ferro nos grãos, contribuindo para a produção de alimentos mais nutritivos e redução da deficiência desses micronutrientes (GUPTA et al., 2016; ZHOU et al., 2019).

O objetivo desta pesquisa é desenvolver e validar a tecnologia de biofortificação agronômica via pulverização foliar de zinco e ferro para o enriquecimento de grãos de aveia e a definição se a forma de fornecimento não interfere em indicadores agrônomicos e de interesse da indústria e do consumidor, de forma a contribuir para a segurança nutricional.



METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em Augusto Pestana, RS, Brasil. A semeadura foi realizada na primeira quinzena de junho, utilizando semeadora-adubadora, em unidades experimentais de 5 m², com densidade de 400 sementes viáveis m⁻². O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com seis repetições e quatro doses de aplicação foliar de sulfato de zinco (ZnSO₄·7H₂O) e sulfato de ferro (FeSO₄·7H₂O) (0, 1000, 2000 e 4000 g ha⁻¹), de forma isolada, aplicadas no início do enchimento de grãos. As aplicações foram realizadas com pulverizador costal de 20 L, à pressão constante de 30 lb pol⁻², utilizando pontas de jato tipo cone e volume de calda de 500 L ha⁻¹.

Na colheita, os grãos foram levados ao laboratório para análise dos indicadores agrônômicos e de interesse da indústria e do consumidor. Parte dos grãos foram descascados gerando amostras de 20 g de cariopses, que foram secas em estufa (70–80 °C) até peso constante, moídas, peneiradas em malha de 53 µm e encaminhadas para determinação das concentrações de zinco e ferro, conforme Tedesco et al. (1995). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando verificado efeito significativo, as médias foram comparadas por teste de médias, utilizando o software GENES (CRUZ, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, os resultados da análise de variância indicaram que as doses de sulfato de zinco e sulfato de ferro aplicadas via foliar não promoveram alterações significativas nas variáveis testadas. Assim, a aplicação foliar de zinco e ferro, se incrementar o valor nutricional dos grãos, não trará efeitos negativos sobre o desempenho dos indicadores agrônômicos, de rendimento industrial e da composição orgânica nos grãos da aveia.

Tabela 1. Resumo da análise de variância das doses de sulfato de zinco e sulfato de ferro sobre indicadores agrônômicos e da composição orgânica dos grãos.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio						
		PG	MMG	MH	RI	PT	FT	AM
		(kg ha ⁻¹)	(g)	(kg hl ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
Sulfato de Zinco								
Bloco	5	417060	0,69	1,63	123545	90,7	48,7	119



Dose Zn	3	48079	1,58	1,39	13784	28,4	18	19
Erro	15	46892	2,54	1,58	25896	26,9	18,8	50,8
Total	23	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	1972	29,2	44,2	1008	115	127	445
CV(%)	-	10,97	5,44	2,84	15,96	4,49	2,33	1,6

Sulfato de Ferro

Bloco	5	38151	5,2	4,31	6655	12,43	11,11	63,82
Dose Fe	3	35143	4,15	2,34	8687	60,74	30,76	96,58
Erro	15	60355	3,7	1,62	29475	25,22	23,6	67,74
Total	23	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	1909	29,76	44,43	1039	114,49	129,14	443,44
CV(%)	-	12,8	6,45	2,86	16,51	4,38	2,85	1,85

QM- Quadrado Médio; GL- Grau de liberdade; CV- Coeficiente de variação; PG- Produtividade de grãos; MMG- Massa de mil grãos; MH- Massa do hectolitro; RI- Rendimento Industrial; PT- Proteína total; FT- Fibra total; AM- Amido; * = Significativo em nível de 5% de probabilidade de erro por teste F.

Na tabela 2, a análise de variância evidenciou efeito significativo das doses de sulfato de zinco e sulfato de ferro sobre as concentrações de zinco e ferro nas cariopses de aveia.

Tabela 2. Resumo da análise de variância dos teores de zinco e ferro em cariopses de aveia em função das doses de sulfato de zinco e sulfato de ferro.

Fonte de Variação	GL	QM Sulfato de Zinco		QM Sulfato de Ferro	
		Zn	Fe	Fe	Zn
Bloco	5	31,79	650	474	88,5
Dose	3	2331*	77144*	66927*	2270*
Erro	15	3,2	16,1	9,8	1,83
Total	23	-	-	-	-
Média geral	-	42,5	96,8	38,4	92,6
CV(%)	-	4,2	4,1	3,5	3,3

QM- Quadrado Médio; GL- Grau de liberdade; CV- Coeficiente de variação; * = Significativo em nível de 5% de probabilidade de erro por teste F.



Na tabela 3, de médias, os resultados mostram que o aumento das doses de sulfato de zinco elevou a concentração de zinco nas cariopses, passando de 37 mg kg⁻¹ na testemunha para 47 mg kg⁻¹ na dose de 4000 g ha⁻¹. No entanto, a dose com 2000 g ha⁻¹, já mostra valores médios similares a máxima concentração. Por outro lado, o incremento das doses de zinco fornecidas, reduz a concentração de ferro nas cariopses. É observado uma redução de 147 mg kg⁻¹ na testemunha para 70 mg kg⁻¹ no uso da maior concentração de biofortificação. Ainda na tabela 3, o fornecimento de sulfato de ferro foliar, mostrou maior incremento do nutriente na cariopse, especificamente no ponto de 2000 g ha⁻¹. Neste cenário, o aumento das doses de biofortificação com sulfato de ferro não alterou a concentração de zinco na cariopse, mantendo-se estatisticamente semelhante. Os resultados mostram uma interação entre os micronutrientes, comportamento que pode estar relacionado à competição na dinâmica de absorção, transporte e armazenamento na cariopse de aveia.

Tabela 3. Médias das concentrações de zinco e ferro em cariopses de aveia submetidas a diferentes doses de sulfato de zinco e sulfato de ferro.

Dose (g ha ⁻¹)	Sulfato de Zinco (mg kg ⁻¹)		Sulfato de Ferro (mg kg ⁻¹)	
	Zn	Fe	Fe	Zn
0	37 b	147 a	65 b	42 a
1000	39 b	89 b	66 b	35 a
2000	45 a	80 b	93 a	35 a
4000	47 a	70 b	71 b	41 a

As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott knott.

A equação que descreve o comportamento de expressão de zinco na cariopse pelas doses de sulfato de zinco é dado por $36,4+0,0047x-0,0000007x^2$. Portanto, a derivação para estimativa do ponto ótimo de fornecimento se dá com 3350 g ha⁻¹ para a máxima expressão de zinco na cariopse. Por outro lado, o sulfato de zinco mostra sobre a expressão de ferro comportamento linear decrescente com a função $125,8-0,0167x$, mostrando que a cada uma grama de sulfato de zinco fornecido reduz em 0,0167 g de ferro na cariopse. A equação que descreve o comportamento de expressão de ferro na cariopse pelas doses de sulfato de ferro é



dado por $58,964+0,0226x-0,0000006x^2$. Portanto, o ponto ótimo de fornecimento se dá com 1883 g ha^{-1} para a máxima expressão de ferro na cariopse.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biofortificação foliar de sulfato de zinco e sulfato de ferro durante a fase de enchimento dos grãos promove o enriquecimento de zinco e ferro, respectivamente, nas cariopses de aveia. Os resultados evidenciam interação entre zinco e ferro, indicando que a resposta de incremento de um micronutriente pela biofortificação pode influenciar a presença do outro, aspecto que deve ser considerado no manejo da tecnologia. Assim, a biofortificação agrônômica com zinco e ferro constitui uma estratégia promissora na promoção da saúde pública, favorecendo aumentar o valor nutricional da aveia, contribuindo para a produção de alimentos com maior qualidade e redução de deficiências de micronutrientes.

Palavras-chave: *Avena Sativa* L. Enchimento de grãos. Micronutrientes. Saúde Pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI: 10.4025/actasciagron.v35i3.21251.

DUAN, M; LI, T. et al. Zinc nutrition and dietary zinc supplements. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.63, n.9, p.1277-1292, 2023.

GUPTA, N.; RAM, H.; KUMAR, B. Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v.15, n.1, p.89-109, 2016.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

ZHANG, L. et al. Association between serum copper/zinc ratio and lung cancer: A systematic review with meta-analysis. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v.74, P.127061, 2022.

ZHOU, J.; WANG, C.; LI, X.; et al. Agronomic biofortification of food crops with zinc and selenium: a review. *Agronomy*, Basel, v. 9, n. 12, p. 1-19, 2019. DOI: 10.3390/agronomy9120805.